Nota

Avances y limitantes en el tratamiento del agua residual del estado de Zacatecas

• Patricia Rivera* •
Colegio de la Frontera Norte, Tijuana, México
*Autor para correspondencia

• Refugio Chávez •
Universidad de Estrasburgo, Estrasburgo, Francia

• Fabiola Rivera Salinas •
Junta Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de Zacatecas, Zacatecas, México

DOI: 10.24850/j-tyca-2018-01-08

Resumen

Rivera, P., Chávez, R., & Rivera-Salinas, F. (enero-febrero, 2018). Avances y limitantes en el tratamiento del agua residual del estado de Zacatecas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, *9*(1), 113-123, DOI: 10.24850/j-tyca-2018-01-08.

El tratamiento del agua residual y el que éstas cumplan la(s) norma(s) establecida(s) es uno de los grandes retos gubernamentales. Sin embargo, los diferentes contextos demandan acciones acordes con las necesidades y características de cada lugar. En los últimos diez años, en el estado de Zacatecas, México, se han construido una serie de plantas de tratamiento con el objetivo de contribuir al saneamiento de las cuencas hidrológicas. Sin embargo, a pesar de estos avances en la infraestructura, es necesario analizar el funcionamiento y tratamiento de las plantas estatales, a fin de clarificar los retos en la materia. Para efectuar este trabajo se consultaron cuatro fuentes clave: *Inventario y situación actual de las plantas de tratamiento del estado de Zacatecas* (Rivera-Salinas, 2011); el *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación* (Conagua, 2011); el *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de agua residual* (PTAR, 2014) y, finalmente, el *Inventario de la Secretaría de Agua y Medio Ambiente* (SAMA, 2017). Se encontró que sólo un 53% de las plantas opera, el resto presenta problemas diversos que muestran la incapacidad municipal para paliar los problemas de tratamiento (p. ej., plantas obsoletas, bajo nivel de tratamiento, incapacidad financiera de los municipios y personal no capacitado, entre otros), obligando al gobierno a intervenir y centralizar el tratamiento en zonas urbanas, con plantas con tecnología avanzada. Ello significa una no eficiente descentralización de servicios y una baja coordinación entre municipios, factores indispensables a retomar en una planificación de mediano y largo plazos.

Palabras clave: agua residual, sistemas de tratamiento, inventario, estado de Zacatecas.

Abstract

Rivera, P., Chávez, R., & Rivera-Salinas, F. (January-February, 2018). Advances and limitations in the treatment of wastewater in the state of Zacatecas. Water Technology and Sciences *(in Spanish), 9(1), 113-123, DOI: 10.24850/j-tyca-2018-01-08.*

Making the waste water treatments meet the established standards is one of the greatest challenges the government faces. However, different contexts accordingly require that actions meet the needs and characteristics of each specific location. In the state of Zacatecas, Mexico a number of treatment plants have been built within the past 10 years with the aim of ensuring sustainable watersheds. However, despite these advances in infrastructure, it is necessary to analyze the performance and treatment of municipal plants in order to clarify the challenges in the field. In the development of this work, four key sources were consulted: Inventario y situación actual de las plantas de tratamiento del estado de Zacatecas (Rivera-Salinas, 2011); Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación (Conagua, 2011); Diagnóstico de plantas de tratamiento de agua residual (PTAR, 2014); and the Inventario de la Secretaría de Agua y Medio Ambiente (SAMA, 2017). We found that only 53% of the plants operate, the rest have various issues which show the municipalities inability to alleviate the problems of treatment (ranging from obsolete plants, low maintenance, insufficient funds, untrained personnel, etc.), forcing the state to intervene and centralize treatment in urban areas with advanced technology plants. The results show a non-efficient decentralization of services and little coordination between municipalities, which are essential factors in medium and long-term planning.

***Keywords**: Wastewater, treatment systems, inventory, state of Zacatecas.*

Recibido: 14/10/2015
Aceptado: 05/07/2017

Introducción

El crecimiento poblacional ha generado una mayor demanda e impacto en recursos naturales como el caso del agua. Desde tiempos antiguos, los ríos, lagos y mares recogen las basuras producidas por la actividad humana; estas descargas indiscriminadas, junto con la sobre-extracción y la baja capacidad de tratamiento del recurso, han generado una gran contaminación del agua, que se ha agudizado con el paso de los años.

Según datos de la OMS (2014), 2 500 millones de personas carecen de acceso a saneamiento mejorado. En los países en desarrollo, más del 80% del agua residual se descarga sin tratamiento. De acuerdo con el Banco Mundial (2014), entre 70 y 75% del agua residual de Latinoamérica vuelve a los cuerpos de agua sin tratamiento alguno, creando un serio problema ecológico y de salud pública. Esta cifra es particularmente preocupante si consideramos que 80% de la población vive en ciudades, y gran parte de ella en asentamientos cercanos a fuentes contaminadas.

Aunque desde hace ya varias décadas, siguiendo normativas internacionales y atendiendo necesidades nacionales y contextos locales, los gobiernos y agencias encargadas del manejo del agua han colocado el proceso de tratamiento del agua residual como prioridad y estrategia central para mejorar la calidad de vida, proteger de la salud pública y avanzar hacia el desarrollo sostenible, las metas no han podido ser alcanzadas. En México, la cobertura de alcantarillado en 2012 alcanza el 90.5%. El caudal tratado durante la última década se ha incrementado a nivel nacional a más de 100%, al pasar de 64.5 m^3/s en 2004 a 105.9 m^3/s en 2013, con 2 287 plantas municipales. No obstante, las aguas no tratadas aún representan el 49.8% del total (Conagua, 2014), esto da cuenta de los enormes rezagos que subsisten en el país.

De acuerdo con Lahera (2010), el tratamiento de agua es un proceso inacabado por cuatro aspectos principales: poblacional, tecnológico, económico y político-normativo. El aspecto poblacional, con su consecuente urbanización, presiona la demanda de agua, es decir, el caudal utilizado que no se trata aumenta y genera un problema de desecho inadecuado.

El aspecto tecnológico es muy importante en relación con las técnicas de tratamiento utilizadas y su grado de complejidad. Según la Conagua (2014), 57.3% del total de las plantas de tratamiento a nivel nacional utiliza el tratamiento por lodos activados. Lahera (2010) indica que este método hace uso intensivo de productos químicos y de energía, genera emisiones de contaminantes al aire (amoniaco) y produce cantidades de lodos tóxicos, cuya disposición final no está garantizada (a pesar de la existencia de la NOM-004 de biosólidos).

En cuanto al aspecto económico, se encuentra que la infraestructura disponible para el tratamiento de aguas no cubre las necesidades. En México, la infraestructura sólo recolecta 50.2% del total (Conagua, 2014) y su operación es ineficiente. Existe una sobre y subutilización de recursos, esto es, algunas plantas operan con deficiencias y tratan un flujo mayor a su capacidad instalada, mientras otras tienen una capacidad instalada mayor al flujo de aguas residuales que capturan (la capacidad instalada total nacional es de 1 52.17 m^3/s, aunque el caudal tratado es apenas de 105.93 m^3/s (Conagua, (2014: 105**)**, esta planeación poco efectiva implica que los costos sean superiores. A pesar de que la regulación fomenta la agrupación intermunicipios para ahorrar costos, la mayoría de plantas está asignada a municipios de manera individual. Aunque la operación y mantenimiento es responsabilidad municipal, la construcción de plantas puede ser apoyada de manera estatal o federal (como por distintas instancias: Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas, APAZU; Programa para la Construcción y Rehabilitación de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales, Prossapys; y, Programa de Tratamiento de Aguas Residuales, Protar), pero los costos de operación y mantenimiento son responsabilidad municipal y buena parte de los municipios no tiene la solvencia necesaria ni prioriza el manejo de sus plantas.

Tecnología y Ciencias del Agua, vol. IX, núm. 1, enero-febrero de 2018, pp. 113-123
• ISSN 0187-8336

El tratamiento del agua tampoco reviste de reconocimiento ecológico ni se potencian los beneficios que podría implicar la entrada de dinero en el uso y venta de agua tratada en usos no potables (Lahera, 2010). Además, un gran porcentaje de la población no tiene la posibilidad de asumir incrementos de costos por el tratamiento (se requieren estrategias tarifarias y la revisión de la inequidad en los servicios).

En materia política-normativa se privilegia la rentabilidad política. Así, frente a recursos presupuestales insuficientes, se considera prioridad la dotación de agua potable y la construcción de la red de drenaje frente a medidas de saneamiento, pues las primeras representan un mayor capital electoral y la expansión de la red de influencia sobre las comunidades (Carabias, Landa, Collado, & Martínez, 2005; Islas & Sainz, 2007; Aguilar, 2010). Aunque innegablemente en el aspecto político-normativo inciden el cumplimiento normativo y las sanciones propuestas.

Si bien el saneamiento del agua residual implica diferentes fases interrelacionadas que es necesario asegurar (recolección, transporte, tratamiento y adecuada disposición a los cuerpos receptores), este trabajo se centrará específicamente en el análisis del tratamiento, porque consideramos que tiene mayor rezago. El objetivo es aportar elementos (mayoritariamente cualitativos, pues la información sobre las plantas de tratamiento en la entidad no es uniforme) a la valoración de su funcionamiento y tratamiento, y a la búsqueda de alternativas en el manejo del agua residual en el estado de Zacatecas, México. Este manuscrito se divide en cuatro apartados. Primero, se señala brevemente la metodología utilizada para realizar este trabajo. Segundo se efectúa un diagnóstico inicial que señala el funcionamiento de las plantas de tratamiento en el estado de acuerdo con la información recabada. Se construye un tercer apartado de análisis, donde se incorporan los tipos de tratamiento utilizados en el estado y su relación con su ubicación. Finalmente, en el cuarto apartado, conclusiones, se analizan las limitantes que prevalecen en las plantas de tratamiento y se agrupan en los cuatro ejes propuestos por Lahera (2010), pero aplicados al caso estatal.

Metodología

Este trabajo se construye a partir de la tesis de maestría de Rivera-Salinas (2011), que elabora un inventario de las plantas de tratamiento del estado de Zacatecas. En este trabajo la autora georreferencia las plantas de tratamiento del estado, las caracteriza de acuerdo con su tipo de tratamiento, señala en su gran mayoría su cumplimiento normativo, construye un archivo fotográfico, y, finalmente, identifica y precisa medidas de rehabilitación en las plantas que lo requieren. Este trabajo de maestría fue el insumo para los posteriores inventarios de las plantas del estado: *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación* Conagua (2011), *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de agua residual* (PTAR, 2014), y el *Inventario de la Secretaría de Agua y Medio Ambiente* (SAMA, 2017).

A partir de la revisión de estos cuatro inventarios se realizó un análisis anual de las plantas de tratamiento y se clasificó las plantas de tratamiento con base en su grado de funcionamiento en cuatro tipos: plantas operando satisfactoriamente, plantas operando, plantas operando con deficiencias y plantas fuera de operación (figura 2) (cabe señalar que en la figura 2 también se incorporaron plantas en estabilización y plantas en construcción porque ya las tienen contabilizadas los inventarios revisados). Las plantas operando satisfactoriamente son aquellas que cumplen la NOM-001 (algunas se acercan al cumplimiento de la NOM-003), y están en buenas condiciones de limpieza y mantenimiento. Las plantas operando son aquellas que lo hacen aceptablemente, pero no a su nivel óptimo. Las plantas operando con deficiencias se caracterizan por contar con dificultades mayores, como falta de mantenimiento y azolve, necesidad de construcción de ciertas áreas básicas, zonas inundadas, problemas financieros e, incluso, algunas plantas pequeñas con problemas para incorporar a los usuarios a su red. Por último,

ISSN 0187-8336 •

las plantas fuera de operación, como su nombre lo indica, no operan y en su gran mayoría la infraestructura está en condiciones deplorables.

Una segunda clasificación de la plantas se realizó de acuerdo con sus tipos de tratamiento, tomando como base la clasificación de Conagua (2007), que los divide en tratamiento primario, secundario y terciario. En el tratamiento primario se eliminan por medios físicos los sólidos en suspensión y se reduce en cierto porcentaje la demanda bioquímica de oxígeno (procesos de sedimentación y flotación en lagunas); en el tratamiento secundario se remueven materiales orgánicos coloidales y disueltos mediante procesos naturales y químicos (sistema de filtros biológicos, reactores anaerobios, lagunas de estabilización y lodos activados); y, por último, el tratamiento terciario remueve materiales disueltos, como gases, sustancias orgánicas naturales y sintéticas, iones y bacterias, y virus (intercambio iónico, ósmosis inversa, oxidación avanzada, electrodesinfección, etc.).

El tratamiento de agua en Zacatecas

El estado posee una extensión de 74 502 km^2, distribuidos en 58 municipios, que albergan un total de 4 672 localidades y 34 acuíferos con disponibilidad. Al 2013, la población total era de 1.55 millones, y al 2030 se espera que sea de 1.73 (INEGI, 2014). El estado tiene un aspecto poblacional interesante: existe un contraste entre las pocas zonas urbanas en crecimiento y un gran número de municipios pequeños con poca población o con población en declive, lo que puede explicar en parte el descuido en la provisión de servicios: cobertura de agua potable 94.31% estatal, y alcantarillado 89.07% estatal. Si se subdivide en urbano y rural, se encuentra que el sector rural tiene un 88.42% de cobertura de servicios de agua potable y 76.69% de servicio de alcantarillado, lo que representa una menor provisión de servicios que el sector urbano, que cuenta con 98.4% y 97.6% de servicios, respectivamente (Conagua, 2014).

Según INEGI (2011), el estado de Zacatecas ha pasado de estar entre los cinco estados más atrasados en materia de conexión al drenaje en 1990, sólo precedido por Campeche, Guerrero, Nayarit y Yucatán, a alcanzar un 85.3% del total de las viviendas particulares con este servicio en 2015. En el cuadro 1 se muestra el avance de viviendas con drenaje, siempre menor que los porcentajes nacionales. Actualmente el estado genera 4 545.4 lps de agua residual (1.98% de las aguas generadas en el país, ocupando el lugar 21 nacional) y recolecta 4 117.8 lps (lugar 19 nacional); es decir, 427.6 lps son vertidos en sitios no aptos, provocando contaminación (INEGI, 2014).

A pesar de que la dotación de drenaje a las viviendas estatales ha mejorado, el avance en el tratamiento no ha tenido la misma suerte. Según la Semarnat (2013), el volumen de agua residual producido fue de 44.59 hm^3: 3.77 hm^3 de fuente industrial y 40.82 hm^3 de origen municipal; de éstos, alrededor del 70% (31.44 hm^3) no recibe tratamiento. La capacidad instalada de tratamiento de las plantas municipales en el estado de Zacatecas es de 1194.6 lps —representa sólo el 0.85% en comparativa nacional— (INEGI, 2014). Aunque el caudal tratado difiere de la

Cuadro 1. El avance de viviendas con drenaje en Zacatecas comparado con datos nacionales 1990-2010.

Año	Zacatecas (%)	Nacional (%)
1990	46.3	62
2000	68.2	75
2005	84.4	85
2010	89.0	89.1
2015	85.3	92.8

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI, 2011 y 2015.

• ISSN 0187-8336

Cuadro 2. Comparativa estatal respecto al avance nacional de agua residual y plantas de tratamiento municipal e industrial.

Concepto	Nacional	Estatal	Porcentaje estatal (%)	Lugar
Agua residual generada (lps)	229 734.5	4 545.5	1.98	21
Agua residual colectada (lps)	210 169.4	4 117.8	1.96	19
Plantas municipales de tratamiento en operación	2 342	73	3.11	11
Capacidad instalada (lps)	140 142.1	1 194.6	0.85	29
Caudal tratado (lps)	99 750.2	1 049	1.05	26
Cobertura de tratamiento (%)	47.5	25.5	25.5	26
Plantas de tratamiento industrial en operación	2 530	15	0.59	26
Capacidad instalada (lps)	74 934	157.3	0.21	30
Caudal en operación (lps)	60 532	48	0.80	31
Participación respecto al agua residual generada (%)	26.3	1.1	1.1	31

Fuente: INEGI, 2014.

capacidad, es decir, si se colectan 4 117.8 lps y sólo son tratados 1 049, la capacidad instalada (25.47%) está muy por debajo de sus requerimientos y se ubica en el lugar 26 nacional (cuadro 2). También es relevante señalar que el saneamiento proveniente de la industria es incipiente, con apenas un 1.1%, colocando al estado en último lugar nacional en caudal en operación.

En relación con la información más reciente sobre plantas de tratamiento, el Inventario SAMA (2017) tiene registradas 69 plantas operando, 20 plantas fuera de operación y seis en proceso de construcción. Del total de las plantas construidas en el estado, 31 se encuentran en zonas urbanas y 61 en zonas rurales, tres son plantas privadas (las plantas privadas son Bernardez, Zona Militar y Minera Proaño en Fresnillo). Las plantas se distribuyen a lo largo de 58 municipios. Fresnillo es el municipio con mayor número de plantas de tratamiento (seis); Pinos y Tabasco con cuatro plantas cada uno; Genaro Codina, Sain Alto, Villa García y Villanueva con tres plantas cada uno (figura 1).

A partir de la clasificación elaborada y mencionada en la metodología, se encontró que de las 96 plantas construidas en el estado de 2004 a la actualidad, 34% de las plantas opera satisfactoriamente; un 19% opera de manera aceptable, pero no a su nivel óptimo, con algunas limitantes por subsanar. Estos dos grupos sumados son el 53% del total estatal (o 57 plantas). Es decir, más de la mitad de las plantas de tratamiento del estado está en operación.

En contraparte, el 13% opera con deficiencias. De acuerdo con SAMA (2017), estas 12 plantas están en proceso de causar baja de inventario por abandono de las autoridades locales y la falta de interés en la operación y mantenimiento; el 21% de las plantas está fuera de operación. Por último, en los años 2014-2016 se encuentran en proceso de prueba siete plantas y seis en construcción, que representan el 14% del total. Indica SAMA que incluyendo toda la infraestructura construida hasta la actualidad, el estado tendrá la capacidad de tratar 81% del agua residual de Zacatecas. Es importante señalar que de 2014 a 2016 se encuentraron en proceso de construcción seis plantas (dos de ellas en proceso de entrega-recepción que después seguirán al proceso de estabilización) y siete en proceso de estabilización; esto último significa que las plantas están trabajando, pero todavía no a su nivel óptimo; operan buscando su nivel de lodo adecuado y su tiempo de retención hidráulico óptimo, hasta llegar a tener un trabajo continuo, donde el resultado de calidad de agua al momento de salida sea el proyectado o cumpla con la normatividad establecida.

ISSN 0187-8336 •

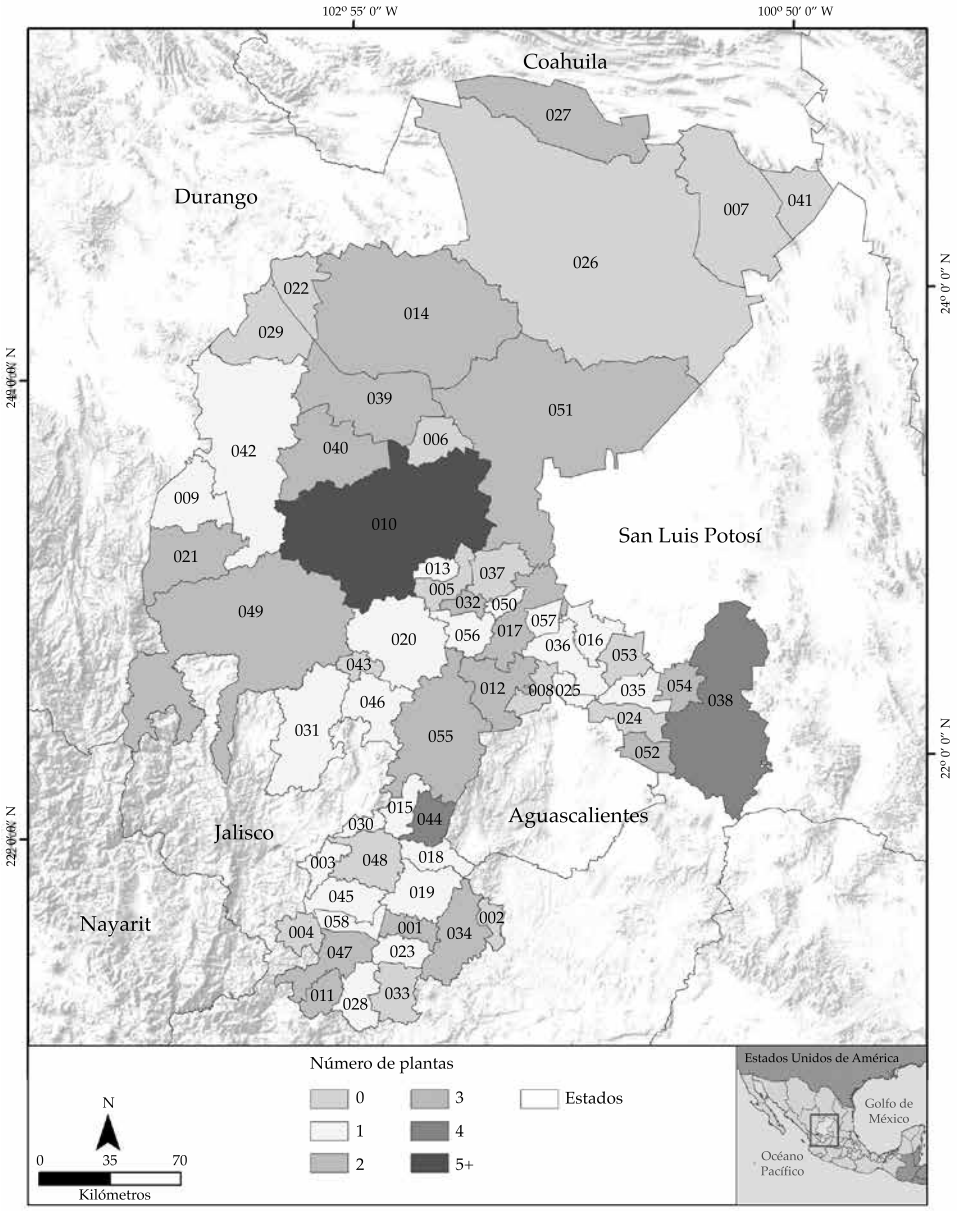

Figura 1. Distribución de las plantas de tratamiento municipales en Zacatecas.
Fuente: PTAR, 2014.

Rivera y Vázquez (2014) señalan cómo la dotación de servicios (abastecimiento de agua potable, alcantarillado y desinfección) en zonas urbanizadas, como Zacatecas, Guadalupe y Fresnillo, está prácticamente cubierta. Por el contrario, en el tratamiento persisten deficiencias, pero los avances en el mismo siguen el patrón de las áreas urbanas.

De la revisión cronológica anual (figura 2) se deduce que no hay un patrón de crecimiento o mantenimiento constante que indica una planeación a largo plazo para revertir el problema del tratamiento en el estado. En relación con el cumplimiento de su normatividad, la información obtenida no permite hacer un análisis del total de las plantas, sin embargo se observa que

• ISSN 0187-8336

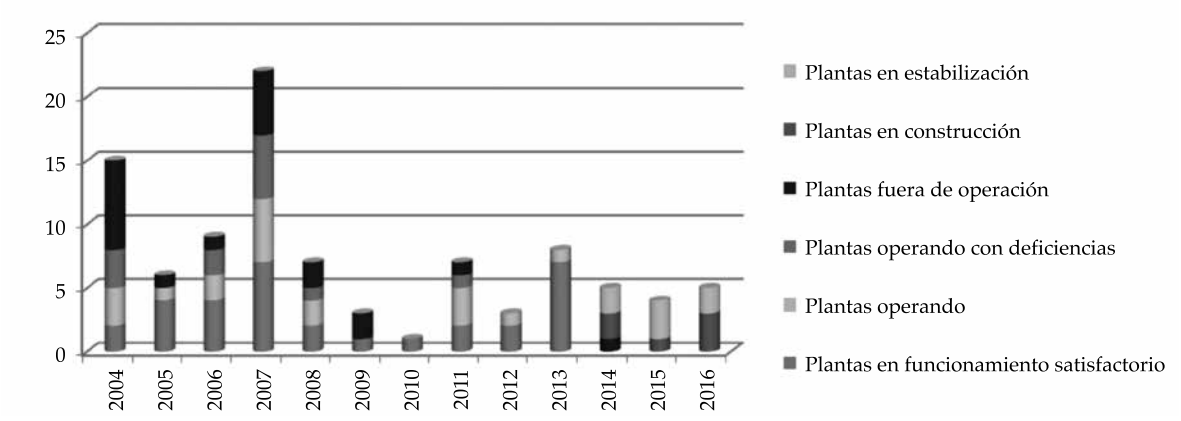

Figura 2. Plantas de tratamiento según nivel de operación anual.
Fuente: elaboración propia con base en SAMA, 2017.

las plantas en operación cumplen (sólo en lo general) la NOM-001, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, y algunas se acercan a la NOM-003, que se enfoca en el reúso de agua, al establecer los límites permisibles para reutilizar el agua en servicios al público. Sobre la NOM-002 y NOM-004, la primera referida a descargas al alcantarillado y la segunda sobre lodos y biosólidos (Semarnat, 2014), no se encontró información disponible.

A pesar de no existir un patrón anual, el factor demográfico, en particular la urbanización explica la instalación y el funcionamiento de las plantas. Si se analizan los datos de funcionamiento, se encuentra que en el grupo de plantas que operan satisfactoriamente (total de 32 plantas), un 66 % de ellas se encuentran atendiendo a zonas urbanas. El 34% restante se encuentra en poblaciones de menos de 2 500 habitantes.

El grupo de plantas que opera (sin llegar a cumplir la normatividad) representa un 33% es para poblaciones urbanas, mientras que el restante 67 % para poblaciones rurales. En el grupo de plantas que operan con deficiencias (20 plantas) encontramos que el 83% se encuentran en poblaciones rurales. El último grupo de plantas fuera de operación acentúa totalmente esta tendencia y vemos cómo un 95% de las plantas que no se encuentran operando se ubican en zonas rurales.

Procesos de tratamiento de aguas residuales municipales

Además del funcionamiento, los procesos de tratamiento (para información técnica referente tanto a los métodos como a sus limitantes, consultar a Rodríguez, 2008, Mansur, 2000, y Oropeza, 2006) en el estado son determinantes para avanzar en la eficiencia. De acuerdo con la clasificación de tratamiento propuesto por Conagua (2007): primario, secundario y terciario (cuadro 3). En el estado de Zacatecas un 28% utiliza el proceso primario. Éste se ejemplifica con el tratamiento lagunar (almacenaje en excavaciones poco profundas), y representa el segundo método más común (Rodríguez, 2008, p. 46). Las plantas de tratamiento basadas en el sistema lagunar tienen algunas variaciones como humedal y parcialmente aireado. El tratamiento lagunar es una excelente alternativa para el manejo del agua residual en pequeñas comunidades, aunque su eliminación de nutrientes y microorganismos es baja (Rodríguez, 2008, p. 66).

En relación con el tratamiento secundario, se encontró que un 46% de las plantas del estado

ISSN 0187-8336 •

Cuadro 3. Tipo de tratamiento utilizado en las plantas.

Clasificación	Sistema	Subtipo	Núm. de plantas	Subtotal	Porcentaje (%)
Primario	Lagunar			19	28
		Simple (13); biofiltros (1); con humedal (1); y parcialmente aireado (4) b	19		
Secundario				31	46
	Filtros biológicos		1		
	Lodos activados	Simple (3), alta tasa (3) y burbuja fina (1)	7		
	RAFA	Simple (12), biofiltro estático (3), humedal (5), dual (1)	21		
	Dual	Lagunar con lodos activados	2		
Terciario	Bioenzimático			18	26
		Simple	16		
		Con humedal	2		
Total			68	68	100

Fuente: elaboración propia con información de Conagua, 2014.

utiliza este proceso, es decir, es el tratamiento predominante. De este total, 30% de las plantas usa el reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA). El método también presenta variaciones, como el biofiltro estático o con sistema dual. Por tratarse de un proceso simple, compacto y de instalación barata constituye una alternativa muy interesante. No obtante, su operación y mantenimiento precisa de costos mayores, por ello, la principal desventaja de este tratamiento es que su vida útil real está determinada por el mantenimiento a las estructuras, el espacio disponible y el crecimiento del afluente tratado (Mansur, 2000).

Sigue en importancia (del segundo grupo) el método por lodos activados (10.1%). Se trata de un proceso muy común por su relativa sencillez, que involucra una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos. No obstante, este método necesita de un control de operación muy elevado y requiere de un uso intensivo de productos químicos y de energía; genera emisiones de contaminantes al aire y tiene como residuo grandes cantidades de lodos tóxicos que deben ser estabilizados, espesados y desinfectados antes de su disposición final, lo cual precisa de infraestructura costosa (Oropeza, 2006, p. 66). Se encuentran variaciones de este método como lodos activados de alta tasa y de burbuja fina. Dentro del tratamiento secundario se tiene también el método de filtros biológicos, que sólo representa el 1.45 % de las plantas.

Del tercer grupo de tratamiento podemos mencionar el método bioenzimático (tercero más usado, con un 26%), constituido por una serie de procesos unitarios integrados con funciones físicas, biológicas y químicas. Su instalación, como suelen ser prefabricadas, no precisa de grandes extensiones, pues el proceso consiste en degradar la materia orgánica de manera acelerada (Bioingeniería Sanitaria, 2015). Sin embargo, una limitación es que su proceso se realiza en un tanque, y no puede recibir detergentes, disolventes u otras substancias cáusticas, pues dañarían el proceso anaeróbico.

Al final, los métodos predominantes parecen ser seleccionados por su facilidad de operación y mantenimiento, ya que permiten el menor uso de recursos para el tratamiento, no sólo de terreno empleado sino de energía eléctrica y sustancias químicas, y tratan de disminuir los desechos en su proceso, es decir, se busca, en su mayoría, sistemas menos costosos de construir y operar, pero es necesario señalar que eventualmente fracasan y sus limitantes suelen ser los altos costos de operación y mantenimiento,

• ISSN 0187-8336

y en el largo plazo tienen un costo mayor que aquellos de tecnologías más avanzadas.

Conclusiones

A lo largo de los años, la población y el crecimiento urbano han sido la base para la asignación de las plantas de plantas de tratamiento de aguas residuales en el estado de Zacatecas. Esta asignación es visible tanto en el establecimiento de plantas de mayor capacidad de tratamiento como en términos de mantenimiento y operación. En años recientes, el avance en infraestructura ha sido considerable con la construcción de grandes plantas en zonas urbanas. No obstante, prevalecen retos significativos que podemos aglutinar en cuatro categorías que de manera conjunta explican o inhiben el funcionamiento y eficiencia de las plantas de tratamiento en el estado de Zacatecas:

La primera categoría puede ser dividida en dos aspectos económicos importantes. Un primer aspecto se refiere a la tendencia (quizás más frecuente en los municipios pequeños) en los cortes o cambios administrativo-financieros municipales, por encontrarse en condiciones desfavorables para enfrentar los costos de operación, como el pago de energía eléctrica, la disponibilidad de recursos para la construcción, rehabilitación y mantenimiento de la infraestructura, adquirir los reactivos químicos para la operación, cubrir la falta de capacitación del personal operativo, etcétera. El segundo aspecto se refiere a la dificultad de poder incorporar en el pago del agua potable el costo de los servicios de saneamiento, ya sea por incapacidad financiera de las comunidades o por la baja redituabilidad política de la medida.

En relación con lo anterior, la Comisión Estatal de Agua Potable y Alcantarillado (CEAPA) afirma que el gobierno federal destina a los ayuntamientos 50 centavos por cada metro cúbico de agua residual tratada, mismos que deben ser invertidos en la misma planta tratadora. Sin embargo, esta cantidad no es reclamada por los municipios. Es necesario ajustarse a la normatividad existente, a fin de contar con recursos económicos para un adecuado funcionamiento. Así, la CEAPA afirma que los municipios utilizan las plantas por temporadas y no brindan un servicio regular; entre un 15 y 20% de las plantas liberan agua sin tratar a los vasos lacustres de la entidad, haciéndose acreedoras a una sanción económica y generando un gasto adicional al ayuntamiento (Regalado & Alonzo, 2012).

La segunda categoría se refiere al hecho de las restricciones conjuntas económico y político-normativo a nivel municipal. El tratamiento de aguas es una obligación que recae en los municipios, sin embargo, dicha delegación de facultades en la mayoría de los casos no va aparejada con capacidades técnicas y financieras, limitando los avances. En el caso estatal se evidencia una mayor atención a la construcción de grandes plantas de tecnología avanzada, donde se da prioridad a plantas más especializadas y al transporte de agua hasta ellas. Un ejemplo es el caso de la planta Osiris, en la zona conurbada Zacatecas-Guadalupe, que incrementó en un 23.19% la capacidad de tratamiento en el estado. Pero también persisten otras limitantes, como la ineficiencia en la contratación de personal sobre o subcalificado para operarlas y mantenerlas, el pago de cuotas altas por consumo de energía eléctrica y por la disposición final de sus residuos, etcétera.

La tercera categoría se refiere al fracaso en la descentralización de las políticas públicas en los diferentes niveles de gobierno. Al privilegiar a los centros de mayor población sobre los municipios pequeños y con baja densidad poblacional. Si bien los problemas de las zonas urbanas son más relevantes porque tienen mayor población, no hay que olvidar que el saneamiento en comunidades pequeñas conlleva costos mayores y los presupuestos asignados deben reflejar esto, que de acuerdo con Pombo (2004) podrían superar valores de 15 a 1.

Si se realiza un balance comparativo respecto a la contaminación generada en la zona urbana y en la zona rural, es evidente que la mayor concentración se encuentra en las áreas urbanas. Esto justifica, en cierta medida, la atención en ellas. Sin embargo, uno de los problemas de

ISSN 0187-8336 •

esta concentración urbana puede implicar que los habitantes de zonas rurales, que dependen a menudo de servicios públicos comunales sin alcantarillado o utilizan los recursos abiertos disponibles, se encuentren expuestos a mayores niveles de contaminación.

La cuarta categoría es de carácter técnico y se relaciona con el funcionamiento de las plantas. El problema más recurrente, con base en la información de PTAR (2014), es el mantenimiento de las plantas, derivado de la corrosión del material, mismo que es necesario integrar en una urgente planificación. Aunque en plantas más recientes se han encontrado otro tipo de deficiencias, como la baja incorporación de la población a la red y los escasos presupuestos (como mencionan los funcionarios municipales) para los pagos operativos, que denotan las bajas capacidades municipales.

Cabe señalar que la información obtenida de las plantas no permite elaborar análisis puntualizados, pues los datos que aporta cada planta son diferentes entre sí. Destaca también la capacitación inadecuada del personal que labora en ellas y la escasa consideración a los periodos de vida de cada planta.

En conjunto, estos problemas y sus interrelaciones evidencian una incapacidad estatal en la prestación de servicios, denotando una descentralización de funciones deficiente, donde los discursos van siempre avanzando y las realidades se rezagan. Como propuesta, se plantea una planificación a mediano y largo plazos, donde la información de las plantas se refleje en un sistema de información periódico, público y accesible, que permita conocer el desempeño de las PTAR a la luz de las normativas que vigilan su funcionamiento.

Referencias

Aguilar, E. (2010). *Normatividad de los servicios de agua y saneamiento en México: los casos de Chiapas, Tabasco y Veracruz*. México, DF: CEPAL.

Bioingeniería Sanitaria (2015). *Funcionamiento del proceso de tratamiento bioenzimático*. Recuperado de http://www.bio-ingenieriasanitaria.com.mx

Carabias, J., Landa, R., Collado, J., & Martínez, P. (2005). *Agua, medio ambiente y sociedad. Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México*. México, DF: Universidad Nacional Autónoma de México, El Colegio de México y Fundación Gonzalo Río Arronte.

Conagua (2007). *Estadísticas del agua en México*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional del Agua.

Conagua (2011). *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación*. México, DF: Comisión Nacional del Agua. Recuperado de http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/Normas/SGAPDS-INVENTRIO%202011%20FINAL.pdf

Conagua (2014). *Estadísticas del agua en México*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional del Agua.

INEGI (2011). *Territorio, agua potable y drenaje*. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/dispon.aspx?tema=T

INEGI (2014). *Perspectiva estadística de Zacatecas*. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI (2015). *Encuesta Intercensal*. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/zac/poblacion/vivienda.aspx?tema=me&e=32

Islas, I., & Sainz, J. (2007). Esquemas de cobro por servicio de agua potable en los municipios de México: restricciones institucionales y oportunidades de política pública. *Gaceta ecológica del INE* 82, 37-47.

Lahera, V. (2010). Infraestructura sustentable: las plantas de tratamiento de aguas residuales. *Quivera*, *12*(2), 58-69.

Mansur, M. (10 de diciembre de 2000). *Tratamiento de aguas residuales en reactores anaeróbicos de flujo ascendente en manto de lodos*. Hojas de divulgación técnica # 27. Washington, DC: OMS. CEPIS. Recuperado de http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt27/hdt027.html

OMS (2014). *Progress on Drinking water and Sanitation*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud, UNICEF.

Oropeza, N. (2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. *Caos Conciencia*, 1, 51-58.

Pombo, A. (2004). *Tijuana: agua y salud ambiental (sus estrategias)*, Tijuana: El Colegio de la Frontera Norte.

PTAR (2014). *Diagnóstico elaborado por la Dirección de Saneamiento y Agua Limpia de la Secretaría de Agua y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Zacatecas*. Zacatecas: Dirección de Saneamiento y Agua Limpia de la Secretaría de Agua y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Zacatecas

Regalado, A., & Alonzo, A. (23 de julio de 2012). Tratan agua, pero a medias. *NTR Periodismo Crítico*. Recuperado de http://ntrzacatecas.com/2012/06/18/tratan-agua-pero-a-medias/

• ISSN 0187-8336

Rivera, P., & Vázquez, L. B. (2014). Entre crecimiento poblacional y deterioro ambiental: el caso de Zacatecas, Guadalupe y Fresnillo. *Ra Ximhai*, *10*(6), 23-43.

Rivera-Salinas, F. (octubre, 2011). *Inventario y situación actual de las plantas de tratamiento del estado de Zacatecas*. Tesis de maestría en Planeación de Recursos Hidráulicos. Zacatecas: Unidad Académica de Ingeniería, Universidad Autónoma de Zacatecas

Rodríguez, A. (2008). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades*. Tesis de licenciatura. Hermosillo: Universidad de Sonora, Facultad de Ingeniería.

SAMA (2017). *Plantas de tratamiento hasta el año 2016 en el estado de Zacatecas. Situación actual de operación (inventario)*. Zacatecas: Secretaría de Agua y Medio Ambiente

Semarnat (2014). *Normas mexicanas en materia de agua*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de http://www.semarnat.gob.mx/leyes-y-normas/nom-aguas-residuales

Semarnat (2013). *Programa de Acciones y Proyectos para la Sustentabilidad Hídrica. Visión 2030*. México, DF: Estado de Zacatecas, Gobierno Federal y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Dirección institucional de los autores

Dra. Patricia Rivera

Profesora investigadora
Colegio de la Frontera Norte
Departamento de Economía
Km. 18.5 carretera escénica Tijuana-Ensenada, San Antonio del Mar
22560 Tijuana, Baja California, México
Teléfono: +52 (664) 6316 300, ext. 3419
privera@colef.mx

Dr. Refugio Chávez

Lector
Universidad de Estrasburgo
1 rue des Vergers, 67380 Lingolsheim, France
chavezramirez@unistra.fr

Mtra. Alma Fabiola Rivera Salinas

Directora Técnica
Junta Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de Zacatecas (JIAPAZ)
Circuito Cerro del Gato, edificio F, primer piso, Ciudad Administrativa
98160 Zacatecas, Zacatecas, México
Teléfono_ +52 (492) 4915 055, ext. 34112
fabiola.rivera@jiapaz.gob.mx

ISSN 0187-8336 •